Über Heliotropismus im Radiumlichte

von

Hans Molisch,

w. M. k. Akad.

Aus dem Institut für Radiumforschung der kaiserl. Akademie der Wissenschaften und aus dem pflanzenphysiologischen Institut der k. k. Universität in Wien. Nr. 17 der zweiten Folge.

(Mit 5 Textfiguren.)

(Vorgelegt in der Sitzung am 23. März 1911.)

Vor 6 Jahren habe ich Versuche darüber angestellt, ob das von den Radiumpräparaten ausgehende schwache Licht imstande ist, Heliotropismus bei Pflanzen hervorzurufen.[1] Ich hatte damals nur ein sehr schwaches Radiumpräparat zur Verfügung (0·1 *g*) im Preise von 35 Francs und einer Aktivität von 3000; es leuchtete zwar für ein dunkel adaptiertes Auge im Finstern deutlich und brachte einen Baryumplatincyanürschirm zum Phosphoreszieren, allein Heliotropismus war mit diesem Präparate selbst bei Heranziehung heliotropisch sehr empfindlicher Pflanzen nicht festzustellen.

Es schien mir aber schon damals trotzdem nicht unwahrscheinlich, daß mit stärker leuchtenden Präparaten vielleicht doch ein positives Resultat erzielt werden könnte. Ich sagte: »Trotzdem möchte ich mich aber noch vorläufig eines abschließenden Urteils enthalten, da ich bislang mit sehr stark aktiven Radiumpräparaten ihres hohen Preises wegen noch nicht experimentieren konnte. Wenn man bedenkt, daß das

---

[1] Molisch Hans, Über Heliotropismus, indirekt hervorgerufen durch Radium. Ber. d. Deutschen bot. Ges., Bd. XXIII, Jahrg. 1905, p. 1 bis 8.

Licht radiumhältiger Baryumverbindungen immerhin so stark sein kann, daß man es im Halbdunkel oder in einem mit Gas erleuchteten Zimmer sieht, ja daß man dabei sogar lesen kann, so wird es nicht ganz unwahrscheinlich, daß durch sehr intensiv wirkende, stark leuchtende Präparate doch heliotropische oder andere Krümmungen erzielt werden könnten.«

Hingegen habe ich mir damals schon den Beweis verschafft, daß Radium indirekt positiven Heliotropismus hervorzurufen vermag. Radiumpräparate haben bekanntlich die Fähigkeit, gewisse Körper, wie Baryumplatincyanür oder Zinkblende, zum Leuchten zu bringen. Baryumplatincyanür leuchtet nur so lange, als es dem Radium ausgesetzt ist, während Zinkblendepulver noch einige Zeit nachleuchtet. Mit einem Röhrchen, das eine Mischung von Radium mit Zinksulfid enthielt und das ein lange Zeit leuchtendes Lämpchen darstellte — es leuchtet, obwohl im Dunkeln aufbewahrt, seit 5 Jahren noch immer — konnte ich bei Wicken- und Linsenkeimlingen, ferner bei *Phycomyces* sehr deutlichen positiven Heliotropismus feststellen. Allein bei diesen positiv ausfallenden Versuchen handelte es sich nicht um eine direkte, durch die Lichtstrahlen des Radiumpräparates hervorgerufene Leistung, sondern um eine indirekte, denn hier wurde der Heliotropismus durch das Licht der Zinkblende erregt, also erst indirekt durch das Radium.

Im Anschluß daran hat dann Körnicke[1] mit viel kräftigeren Präparaten, als mir seinerzeit zur Verfügung standen, wertvolle Versuche über die Einwirkung von Radiumstrahlen auf die Pflanze gemacht und unter diesen Experimenten finden sich auch solche über den Heliotropismus der Wicke *(Vicia sativa)* und der Sporangiumträger von *Phycomyces nitens*. Seine Versuche fielen nicht gleichmäßig aus. In den ersten Experimenten kümmerten sich die Keimlinge um das Radiumröhrchen gar nicht, sondern wuchsen daneben hinweg. »Ein positives Resultat ergab sich erst bei weiteren Versuchen, die in gleicher

[1] Körnicke M., Weitere Untersuchungen über die Wirkung von Röntgen- und Radiumstrahlen auf die Pflanzen. Ber. d. Deutschen bot. Ges., Bd. XXIII, Jahrg. 1905, p. 329.

Weise angestellt wurden, bei welchen aber sich einige Keimlinge durch geringe Wachstumsintensität von den übrigen unterschieden, sonst aber gleich kräftig erschienen. Diese hatten eine auffallend starke Krümmung nach der Lichtquelle gemacht, wie sich zeigte, als nach 24- und mehrstündiger Wirkung des Radiumlichtes aus ursprünglich etwa 2 *cm* Entfernung die Kulturen nachgesehen wurden. Die anderen, schneller wachsenden Keimlinge derselben Kulturen waren, anscheinend unbeeinflußt, gerade aufwärts gewachsen.« [1]

Im Herbst des verflossenen Jahres wurde in Wien ein »Institut für Radiumforschung« eröffnet, dessen Bau und Einrichtungen durch eine großartige Geldspende des Herrn Dr. Karl Kupelwieser an die kaiserliche Akademie der Wissenschaften in Wien ermöglicht wurde. Diese selbst hat den kostbaren, einen Wert von 1 Million Kronen repräsentierenden Schatz von 3 *g* Radium, dann Ionium, Actinium, Polonium und Radioblei zur Verfügung gestellt. Hier bietet sich dem Biologen eine günstige Gelegenheit, das Radium, das dem Physiker und Chemiker so viel des Unerwarteten und Wunderbaren bot, auch in seiner Einwirkung auf die Lebewesen zu studieren, und diese günstige Gelegenheit bewog mich, gewissen Fragen über den Einfluß des Radiums näher zu treten. Ich begann zunächst da, wo ich schon vor 6 Jahren mit einem schwachen Präparat eingesetzt hatte, und setzte meine erwähnten Untersuchungen über Heliotropismus im Radiumlicht und über eventuelle Tropismen in der dunklen Radiumstrahlung fort. Es schien mir dies auch mit Rücksicht auf den ungleichmäßigen Ausfall der heliotropischen Versuche Körnicke's wünschenswert.

Ich will zunächst meine Versuche mit Hafer *(Avena sativa)* schildern, weil diese Keimlinge ungemein heliotropisch empfindlich und den Einflüssen der »Laboratoriumsluft« nicht in dem Maße unterworfen sind wie die Keimlinge der Wicke, Erbse und anderer Leguminosen. Alle Versuche fanden in einer vollständig lichtdichten Dunkelkammer des Radiuminstitutes bei einer Temperatur von 16 bis 19° C. statt.

---

[1] Körnicke M., l. c., p. 332.

Die Radiumpräparate, die mir für die in dieser Abhandlung geschilderten Versuche zur Verfügung standen, trugen die Bezeichnungen M_0, M_2, Z, Dautwitz IV und Dautwitz V.

M_0 enthält 46·2 *mg* reines $RaCl_2$. Diese Menge ist äquivalent 35·3 *mg* Radiummetall. Die Substanz des Röhrchens ist Radiumbaryumchlorid mit einem Prozentgehalt von 11·4% reinen Radiumchlorids.

M_2 ist aus einem Radiumbaryumchlorid mit einem Gehalt von 22·5% Radiumchlorid entnommen. Das Röhrchen enthält 29·4 *mg* reines $RaCl_2$, äquivalent 22·2 *mg* Radiummetall.

Z enthält Radiumbaryumbromid mit einem Gehalt von etwa 60% Radiumbromid, die Menge entspricht 228 *mg* Radiummetall.

Die drei eben besprochenen Präparate waren in Glasröhrchen eingeschlossen; die α-Strahlen wurden also zum größten Teil oder ganz absorbiert. Bei diesen Röhrchen wirkten von den dunklen Strahlen nur die β- und γ-Strahlen. Um auch die α-Strahlen zur Geltung zu bringen, dienten die beiden Präparate »Dautwitz«. Diese bestehen aus einem Metallscheibchen von 13 *mm* Durchmesser, auf welchen in sehr dünner Lage Lack (0·08 *mm*) aufgetragen war, der das Radiumpräparat gleichmäßig verteilt enthielt.

»Dautwitz IV« (Lackscheibchen) liefert durch seine α-Strahlen einen Sättigungsstrom von 94·2 elektrostatischen Einheiten.

»Dautwitz V« (Lackscheibchen) liefert durch seine α-Strahlen einen Sättigungsstrom von 123·5 elektrostatischen Einheiten.

In ähnlicher, aber nicht unmittelbar vergleichbarer Anordnung liefert die γ-Strahlung von 1 *g* $RaCl_2$ des Radiumstandardpräparates (118 *g*/cal. pro Stunde Wärmeentwicklung) einen Sättigungsstrom von 55 elektrostatischen Einheiten.[1] Daraus geht hervor, daß die Intensität der α-Strahlung der Lackscheibchen sehr groß ist.

---

[1] Die Angaben über die Qualitäten der eben besprochenen Radiumpräparate verdanke ich der Güte der Herren Prof. Dr. S. Meyer und Privatdozenten Dr. V. Heß.

Avena sativa.

Die zum Versuch verwendeten Keimlinge wurden in tiefster Finsternis auf Keimschalen zur Keimung gebracht, dann in Blumentöpfen oder eckigen Glaswannen in eine gerade Reihe gepflanzt und, sobald sie eine Länge von etwa 1 bis $1^1/_2$ *cm* erreicht hatten, in der Dunkelkammer vor dem Radiumröhrchen aufgestellt. Alle vorbereitenden Prozeduren wurden so ausgeführt, daß kein Heliotropismus induziert werden konnte. Zu diesem Zweck arbeitet man im Lichte einer Glühlampe, deren Strahlen eine mit Kaliumbichromat gefüllte Senebier'sche Glocke zu passieren hatten. In einem so erleuchteten Raum kann man viele Stunden arbeiten, ohne befürchten zu müssen, Heliotropismus zu induzieren.

Es ist bekannt, daß alle radiumhältigen Baryumverbindungen selbst leuchten. Die Haloidsalze leuchten in wasserfreiem und trockenem Zustand besonders stark. Bei Wasseraufnahme verlieren die Präparate einen großen Teil ihrer Leuchtkraft, gewinnen sie jedoch durch das Trocknen wieder.[1] Nach dem experimentellen Befund im Wiener Radiuminstitut leuchten auch ganz reine $RaCl_2$-Salze ohne Baryumbeimengung sehr kräftig, besonders wenn sie frisch getrocknet sind (mündliche Mitteilung des Herrn Prof. Dr. S. Meyer). Die mir zur Verfügung gestellten Präparate leuchteten mit verschiedener Intensität; am stärksten leuchtete das Röhrchen *Z*. Weniger stark leuchtete das Röhrchen M_0.

Wenn man aus der Tageshelle in die Dunkelkammer eintrat, sah man das Licht des Röhrchens *Z* sofort[2] oder nach ein paar (3 bis 5) Sekunden, das des Röhrchens M_0 erst nach etwa 3 Minuten. Das Licht des Röhrchens *Z* reichte für ein dunkel adaptiertes Auge nicht aus, um die Taschenuhr abzulesen, und

---

[1] Mme. S. Curie, Untersuchungen über die radioaktiven Substanzen. 1904, p. 79 bis 82. Die Wissenschaft. Sammlg. naturw. Monographien. I. Heft, 3. Aufl.

[2] Körnicke sagt von seinem Präparate, mit dem er seine heliotropischen Versuche machte und das nur 5 *mg* $RaBr_2$ enthielt, daß es einen matten Schimmer schon »kurze Zeit« nach dem Eintreten aus der Tageshelle in die Dunkelkammer zeigte.

war viel schwächer als das einer Strichkultur von *Pseudomonas lucifera* Molisch.

Das an einem Holzstäbchen in horizontaler Lage befestigte Röhrchen *Z* wurde parallel zu den in einer geraden Reihe gepflanzten Keimlingen in einer Entfernung von etwa 1 bis 3 *cm* so aufgestellt, daß es die Spitzen der Keimlinge etwas überragte. Über das Ganze stülpte ich noch, obwohl der Versuch in einer lichtdichten Dunkelkammer ablief, zur Sicherheit, um ja alles Licht abzuhalten, einen Zinksturz. Die Temperatur der Kammer betrug 17 bis 18° C. 48 Stunden nach Beginn des Versuches boten die Keimlinge das in der Photographie (1)

Fig. 1.

Haferkeimlinge *(Avena sativa)*, 48 Stunden einem leuchtenden Radiumröhrchen ausgesetzt. Alle Keimlinge wachsen auf das Licht des Röhrchens zu, sie sind positiv heliotropisch.

festgehaltene Bild. Sie waren sämtlich deutlich positiv heliotropisch gekrümmt.

Derselbe Versuch wurde auch mit dem Präparat M_0 gemacht und ergab gleichfalls ein unzweideutiges Resultat.

Die Photographie (2) zeigt einen heliotropischen Versuch vor einem Radiumröhrchen *(Z)*, von oben gesehen. Man bemerkt vor dem Röhrchen in einer Entfernung von 2 *cm* eine Reihe von 19 Haferkeimlingen, die um so mehr heliotropisch gekrümmt erscheinen, je näher sie sich dem Röhrchen befinden. Daß der Heliotropismus nur von den leuchtenden Strahlen der Radiumpräparate hervorgerufen wird, davon kann man sich leicht überzeugen, wenn man das Röhrchen mit einem schwarzen Papier umhüllt. Es unterbleibt dann jede helio-

tropische Krümmung; die Keimlinge wachsen dann gerade vertikal weiter, da die das Papier durchdringenden β- und γ-Strahlen nicht richtend auf die Keimpflanzen einwirken und die α-Strahlen in diesen Versuchen nicht in Betracht

Fig. 2.
Haferkeimlinge *(Avena sativa)*, positiv heliotropisch zum Radiumröhrchen gekrümmt. Von oben gesehen. Versuchsdauer 48 Stunden.

kommen, weil sie durch die Glaswand des Röhrchens absorbiert werden.

Vicia sativa.

Ich machte meine Versuche zuerst mit dem schwächer leuchtenden Röhrchen M_0 und erhielt anfangs keine einheitlichen Resultate, solche stellten sich erst ein, als gewisse Eigentümlichkeiten der Wicke im Experiment die gebührende Beachtung fanden.

Wie bereits Körnicke gezeigt hat, wirken die dunklen $(\beta+\gamma)$-Strahlen wachstumshemmend auf die Stengel und Wurzeln von *Vicia Faba* und diese Eigenschaft tritt auch bei *Vicia sativa* nach meinen Erfahrungen prägnant hervor. Folgender Versuch gibt davon eine deutliche Anschauung. In einer mit Erde gefüllten Glaswanne wurden ganz junge Wickenkeimlinge in einer geraden Linie gepflanzt und, nachdem sie eine Höhe von 1 bis 2 *cm* erreicht hatten, wurde das Röhrchen in der Mitte der Reihe parallel zu ihr in einer Entfernung von $^1/_2$ *cm* in etwa Knospenhöhe aufgestellt. Das Ganze wurde noch mit einem Zinksturz bedeckt. 24 Stunden später

waren die in nächster Nähe des Röhrchens stehenden Keimlinge ganz schwach positiv heliotropisch gekrümmt und im Wachstum auffallend zurückgeblieben. 4 Tage nach Beginn des Versuches wurden die Keimlinge photographiert (Fig. 3). Die dem Röhrchen nächsten Keimlinge sind während der Versuchszeit nur wenig gewachsen, zeigen einen dünnen Stengel und im allgemeinen eine viel weniger nutierende Knospe und viel weniger Anthocyan als die ferner stehenden. Die letzteren hatten eine Länge von 9 bis 20 *cm*, die ersteren eine von 2 bis

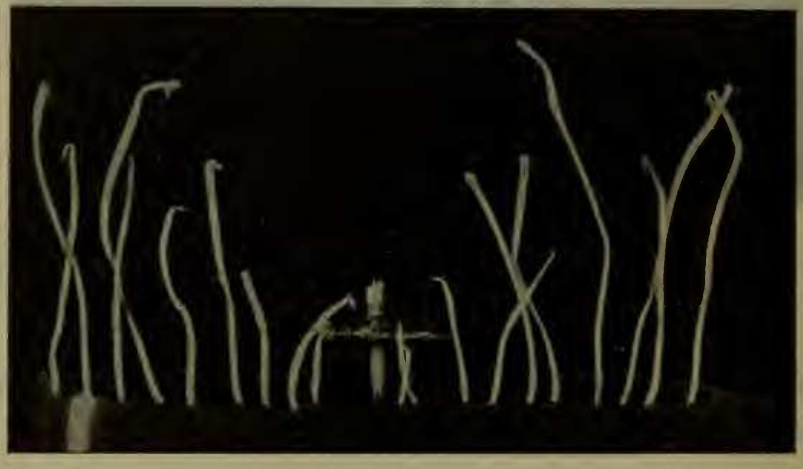

Fig. 3.

Wickenkeimlinge *(Vicia sativa)* unter dem Einfluß eines Glasröhrchens mit Radium. Die dem Röhrchen zunächst stehenden Keimlinge erscheinen im Wachstum außerordentlich gehemmt.

3·5 *cm*. Es kann also keinem Zweifel unterliegen, daß die aus dem Glasröhrchen kommenden β- und γ-Strahlen eine stark hemmende Einwirkung auf das Wachstum ausüben.

Diese Hemmung ist bei verschiedenen Pflanzen nach meinen Untersuchungen mit dem Röhrchen M_0 verschieden groß, bei *Vicia sativa* sehr groß, bei *Cucurbita Pepo* groß, bei *Avena sativa* unbedeutend und bei *Hordeum vulgare* kaum bemerkbar.

Sollen also Wickenkeimlinge auf ihren Heliotropismus im Radiumlicht geprüft werden, so dürfen sie nicht zu nahe stehen, weil sie dann in ihrem Wachstum so gehemmt werden, daß der Heliotropismus schon aus diesem Grunde verschleiert werden kann. Außerdem ist der Einfluß der sogenannten Laboratoriums-

luft sehr zu beachten.[1] Bekanntlich wirken die in der Luft von Laboratorien vorhandenen gasförmigen Verunreinigungen der Luft in verschiedener Weise auf gewisse Keimlinge ein; sie verdicken sich, werden im Längenwachstum gehemmt und wachsen bei Abschluß von Licht nicht vertikal, sondern mehr oder weniger schief oder horizontal, indem der negative Geotropismus nicht zutage tritt. Diese »horizontale Nutation«, die in der Laboratoriumsluft sogar am Klinostaten zur Geltung kommt,[2] tritt besonders schön bei ganz jungen, etwa $^1/_2$ bis 1 *cm* langen Wicken-, Linsen- und Erbsenkeimlingen scharf hervor und kann sehr leicht eine tropistische Krümmung vortäuschen. Diese horizontale Nutation vollzieht sich nämlich gewöhnlich in der zwischen den beiden Keimblättern liegenden Medianebene und, wenn die keimenden Samen so eingepflanzt werden, daß sie alle mit dieser Medianebene gegen die Lichtquelle gleichgerichtet sind, kann ihre horizontale Nutation gleichförmig ausfallen und dann positiven oder negativen Heliotropismus vortäuschen. Man muß daher besonders in Experimenten, wo infolge der sehr schwachen Lichtquelle keine sehr prägnanten Krümmungen zu erwarten sind, beim Einpflanzen der Keimlinge auf die Richtung der Mediane achten. Um Täuschungen zu entgehen, empfiehlt es sich daher, die Keimlinge so zu pflanzen, daß die Mediane, d. h. die Ebene der nutierenden Spitze parallel zu der Längsachse des Radiumröhrchens liegt. Das Licht fällt dann auf die Flanke des Keimlings.

Es ist ferner für den deutlichen Ausfall der heliotropischen Versuche von großer Bedeutung, die Experimente nicht, wie ich dies ursprünglich tat, unter Dunkelstürzen zu machen, sondern unbedeckt, um die Pflanzen absichtlich der Laboratoriumsluft auszusetzen. Unter dem Sturze werden die gasförmigen Verunreinigungen der Luft durch die große Oberfläche des Blumentopfes und der Topferde absorbiert,[3] es erfolgt eine

---

[1] Siehe die einschlägige Literatur bei Molisch H., Über Heliotropismus. L. c., p. 7, und bei Richter O., Diese Sitzungsberichte, Bd. CXV, Abt. I, 1906.

[2] Richter O., Die horizontale Nutation. Diese Sitzungsberichte, Bd. CXIX, 1910, p. 1051.

[3] Molisch H., Über den Einfluß des Tabakrauches auf die Pflanze. Diese Sitzungsberichte, Bd. CXX, Abt. I, Jänner 1911, p. 5.

Reinigung der Luft, der negative Geotropismus kommt zur Geltung und wirkt dem Heliotropismus entgegen. Läßt man aber die Keimlinge unbedeckt in der Laboratoriumsluft wachsen, so entfällt mehr oder weniger der negative Geotropismus und der Heliotropismus tritt nach Ausschaltung der störenden Komponente um so schöner in Erscheinung. Ich habe auf diese Tatsachen schon bei meinen Versuchen über Heliotropismus im Bakterienlicht[1] und dem durch Radium hervorgerufenen Phosphoreszenzlicht hingewiesen,[2] O. Richter hat sie weiter verfolgt und bestätigt[3] und nun konnte ich sie wieder beim Heliotropismus im Radiumlicht beobachten. Immer traten die heliotropischen Krümmungen in der Laboratoriumsluft schärfer und prägnanter hervor als in reiner Luft. Dies zeigte sich sogar in meiner Dunkelkammer des Radiuminstituts, obwohl die Luft hier nicht besonders stark verunreinigt war. In der Kammer befand sich ein Gasofen, der pro Tag nur etwa $^1/_4$ Stunde geheizt wurde und daher nicht viel Heizgase entwickelte. Trotzdem ergab sich ein sichtlicher Unterschied bei Versuchen mit bedeckten und unbedeckten Keimlingen, wie die beiden folgenden Versuche und Photographien zeigen.

Fig. 4.
Wickenkeimlinge *(Vicia sativa)*. 48 Stunden einem Radiumröhrchen in relativ reiner Luft ausgesetzt. Sie sind alle heliotropisch gekrümmt, aber nicht sehr scharf, da in der reinen Luft der Geotropismus dem Heliotropismus entgegenarbeitet.

Versuch unter Dunkelsturz. Vor einer Reihe von Keimlingen der Wicke wurde das Röhrchen Z in einer Entfernung von $2 \cdot 5$ *cm* parallel aufgestellt. Nach 48 Stunden wurde der Versuch photographiert (Fig. 4). Es zeigte sich, daß alle Keimlinge zu dem Röhrchen heliotropisch gekrümmt waren,

[1] Molisch H., Leuchtende Pflanzen. Jena 1904, p. 145.

[2] Molisch H., Über Heliotropismus. L. c., p. 7.

[3] Ob die von v. Guttenberg (Jahrb. f. w. Bot., Bd. XLVII, 1910, p. 462ff) dagegen erhobenen Bedenken berechtigt sind, bedarf weiterer Untersuchungen.

aber die Krümmungen waren, weil sich die Keimlinge in relativ reiner Luft befanden und der negative Geotropismus zur Geltung kam, ziemlich flach.

Versuch unbedeckt. Macht man den Versuch so, daß die Keimlinge ohne Sturz der etwas verunreinigten Luft der Dunkelkammer ausgesetzt waren, so tritt der Heliotropismus schon prägnanter auf (Fig. 5). Die dem Röhrchen zunächst stehenden Keimlinge bleiben, weil von der dunklen Strahlung des Radiums geschädigt, kürzer und flacher gekrümmt, die entfernteren sind länger und unter stärkerem Winkel gekrümmt. Bei unbedeckten Keimlingen tritt noch in einer Entfernung von

Fig. 5.

Wickenkeimlinge *(Vicia sativa)*. 3 Tage dem Radiumröhrchen in der verunreinigten Luft ausgesetzt. Der Heliotropismus tritt viel deutlicher und in viel größerer Entfernung auf, da der Geotropismus durch die Verunreinigungen der Luft teilweise eliminiert ist und dem Heliotropismus nicht stark entgegenwirkt.

11 *cm* deutlicher Heliotropismus ein, während bei bedeckten Keimlingen, die sich in relativ reiner Luft befanden, schon auf eine Entfernung von 4 bis 5 *cm* der Heliotropismus gewöhnlich ausbleibt.

Das Resultat wäre noch prägnanter ausgefallen, wenn die Luft meines Versuchsraumes noch stärker verunreinigt gewesen wäre. Es wurde schon bemerkt, daß der Gasofen nur $^1/_4$ Stunde während eines Tages in Tätigkeit war, und ich füge hinzu, daß die Beleuchtung in der Dunkelkammer durch elektrische Glühlampen besorgt wurde, daher Gasrohre, abgesehen von der kurzen Zuleitung zum Gasofen, so gut wie nicht vorhanden waren.

Auch bei den Wickenkeimlingen kann man sich leicht überzeugen, daß es bloß die von dem Radiumpräparat ausgehenden leuchtenden Strahlen sind, die den Heliotropismus hervorrufen, und nicht die dunkeln β- und γ-Strahlen. Umhüllt man das Röhrchen auch nur mit einer einzigen Lage schwarzen Papiers, so wachsen die Keimlinge in reiner Luft gerade, der Heliotropismus unterbleibt.

Dieser Versuch ist von Wichtigkeit. Man könnte nämlich den Einwand machen, die Krümmung zu dem leuchtenden Röhrchen sei eigentlich gar keine heliotropische, sondern erfolge, weil die dem Röhrchen zugewendete Stengelhälfte durch die dunkle Strahlung stärker im Längenwachstum gehemmt werde als die abgewendete Hälfte. Wenn aber die Krümmung nach Zwischenschaltung eines einzigen Blattes schwarzen Papiers, durch welches die dunkle Strahlung fast ungehindert hindurchgeht, schon ausbleibt, so können eben nur die Lichtstrahlen für die Zukrümmung verantwortlich gemacht werden. Ein anderer Tropismus als Heliotropismus wird durch die Radiumpräparate nicht hervorgerufen. Das Gesagte bedarf aber noch einer Ergänzung. Die bisher von mir beschriebenen Experimente wurden mit Radiumpräparaten ausgeführt, die in Glasröhrchen eingeschlossen waren. Nun ist es aber bekannt, daß die α-Strahlen des Radiums von Glas so gut wie vollständig absorbiert werden und daß mithin bei allen meinen bisherigen Versuchen die α-Strahlung so ziemlich ausgeschlossen war. Dasselbe gilt auch von den Versuchen Körnicke's.

Nun wäre es ja immerhin möglich, daß zwar die β- und γ-Strahlung nicht imstande ist, einen Tropismus hervorzurufen, wohl aber die α-Strahlung. Ich habe daher diesen Punkt noch speziell untersucht. Um die Pflanzen der α-Strahlen zu exponieren, wurden die auf p. 308 erwähnten Lackscheibchen verwendet, von denen eine sehr kräftige α-Strahlung ausging. Wenn ich Keimlinge der Wicke, des Rettigs, des Leins diesen Scheibchen in einer Entfernung von wenigen Millimetern bis 2 und 3 *cm* gegenüberstellte, trat bei den sehr nahestehenden, gleichgültig ob sie mit einem Sturze bedeckt oder unbedeckt waren, eine auffallend starke Hemmung des Längenwachstums auf, eine tropistische Krümmung positiver oder negativer Art

war aber nicht zu bemerken. Nur bei Haferkeimlingen, die im Gegensatz zu Wickenkeimlingen in ihrem Längenwachstum sehr wenig beeinträchtigt werden, schien es, als ob manchmal eine sehr schwache Wegkrümmung stattfände, aber die Erscheinung trat doch bei den vielen von mir gemachten Versuchen so selten ein, daß ich geneigt bin, diese äußerst schwache Krümmung nicht einem durch die α-Strahlung hervorgerufenen Tropismus, sondern irgendeinem anderen mir unbekannten Faktor, vielleicht spontanen Nutationen, zuzuschreiben.

Auch als ich die von Polonium ausgehende Strahlung, die bekanntlich nur α-Strahlen enthält, Keimlingen des Hafers fast bis zur Berührung des Präparates aussetzte, zeigte sich keinerlei Tropismus. Mein Präparat bestand aus einem 7 *cm* langen und $2 \cdot 1$ *cm* breiten, mit einer äußerst dünnen Schicht von Polonium bedeckten Platinblech. Die α-Strahlung war aber sicher hier auf die Flächeneinheit bezogen, viel schwächer als bei den verwendeten Lackscheibchen. Der Sättigungsstrom des Poloniumpräparates war $=$ 60 elektrostatischen Einheiten und gleich 80 partes.

Besonders auffallend war die bei den Wicken infolge der α-Strahlung eingetretene Hemmung des Längenwachstums. Keimlinge, die bis $^1/_2$ *cm* vor dem Scheibchen standen, wuchsen nur wenig weiter, erreichten nach zweitägiger Bestrahlung eine Länge von 2 *cm*, während die seitlich vom Scheibchen stehenden inzwischen 12 bis 15 *cm* lang geworden waren. Die geschädigten Keimstengel zeigten stellenweise eine bräunliche Färbung und wuchsen, unter normale Verhältnisse gebracht, fast nicht weiter, sondern bildeten nach einiger Zeit neue Triebe aus den Achseln der Cotyledonen.

Zusammenfassung.

1. Die von stark leuchtenden Radiumpräparaten ausgehenden Lichtstrahlen können positiven Heliotropismus hervorrufen. Hafer- *(Avena sativa)* und Wickenkeimlinge *(Vicia sativa)* krümmen sich auf leuchtende Radiumpräparate in auffallender Weise zu. Bei gewissen Keimlingen, z. B. denen der Wicke, tritt gleichzeitig eine starke Hemmung des Längen-

wachstums ein, weshalb bei heliotropischen Versuchen die Keimlinge nicht allzu knapp beim Radiumröhrchen gepflanzt sein dürfen.

2. Da die Lichtintensität der Radiumpräparate im allgemeinen eine sehr schwache ist, so gelingen die Versuche nur mit heliotropisch empfindlichen Pflanzen. Keimlinge der Gerste *(Hordeum vulgare)* und der Sonnenblume *(Helianthus annuus)*, die eine weit geringere heliotropische Empfindlichkeit besitzen als Wicke und Hafer, wurden durch die mir zur Verfügung stehenden Radiumpräparate niemals zu heliotropischen Krümmungen veranlaßt.

3. Die heliotropische Wirkungssphäre der Radiumpräparate ist bei Keimlingen, die unter einem Metall- oder Glassturz gezogen werden, eine viel kleinere als bei solchen, die unbedeckt in der Dunkelkammer stehen. Wie schon bei früheren heliotropischen Versuchen des Verfassers im Bakterienlichte zeigte sich auch hier, daß die gasförmigen Verunreinigungen der sogenannten Laboratoriumsluft den negativen Geotropismus bei gewissen Keimlingen schwächen oder ganz ausschalten und daß dann der Heliotropismus um so klarer hervortritt. Dies trifft nun auch für den Heliotropismus im Radiumlichte zu. Unter Sturz werden die die Luft verunreinigenden Stoffe durch die große, poröse Oberfläche der Erde absorbiert und die Luft hierdurch gereinigt. In reiner Luft wirkt das Radiumlicht nur auf 2 bis 3 *cm* heliotropisch, in verunreinigter hingegen bis auf 13 *cm*.

4. Die von Radiumpräparaten ausgehenden dunkeln α-, β- und γ-Strahlen beeinflussen die Keimlinge in verschiedener Art: sie hemmen häufig das Längenwachstum in hohem Grade, verkürzen die Dauer der spontanen Nutation der Knospenspitze, hemmen die Bildung von Anthocyan (Wicke), üben aber keinen richtenden Einfluß auf die Keimstengel, d. h. sie rufen keinen Tropismus hervor.

5. Bei einer separaten Prüfung der α-Strahlen ergab sich, daß diese für sich bei verschiedenen Pflanzen gleichfalls eine sehr bedeutende Hemmung des Längenwachstums und eine Schädigung hervorrufen, z. B. bei Keimlingen der Wicke.